

## PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE COMPÓSITOS DE RESINA POLIURETANA VEGETAL E EPÓXI REFORÇADO POR FIBRA DE BAMBU\*

Mariana Dias Machado Lopes<sup>1</sup>  
Magno de Souza Pádua<sup>2</sup>,  
Felipe Perissé Duarte Lopes<sup>3</sup>,  
Carlos Maurício Fontes Vieira<sup>4</sup>

### Resumo

Compósitos que utilizam as fibras naturais como reforço têm gerado grande interesse na comunidade industrial e científica devido à necessidade de materiais que tenham e responsabilidade com o meio ambiente. O trabalho teve a finalidade de desenvolver e estabelecer uma análise comparativa das propriedades mecânicas de compósitos formados por resina poliuretano e epóxi reforçados com fibras de Bambu. Inicialmente as fibras foram caracterizadas e embebidas em poliuretano e epóxi separadamente para a fabricação dos materiais compósitos. As fibras de bambu foram caracterizadas dimensionalmente e os compósitos foram feitos com porcentagens de 30% em volume de fibra de bambu alinhada ao longo de todo o comprimento. Os corpos de prova foram testados por ensaios de impacto Charpy e flexão. Através dos resultados podemos afirmar que é possível substituir a resina epóxi pela resina poliuretana vegetal à base de óleo de mamona, sem que haja perda das propriedades e características iniciais do projeto, destacando-se ainda a questão da sustentabilidade dos componentes utilizados.

**Palavras-chave:** Ensaio de Impacto Charpy, Resina poliuretano Vegetal, Resina Epoxi, Fibra de Bambu.

### PRODUCTION AND MECHANICAL CHARACTERIZATION OF COMPOUNDS OF VEGETABLE POLYURETHAN RESIN AND EPOXY REINFORCED BY BAMBU FIBER Abstract

Composites that use natural fibers as reinforcement have generated great interest in the industrial and scientific community due to the need of materials that have and responsibility with the environment. The aim of the work was to develop and establish a comparative analysis of the mechanical properties of composites formed by polyurethane resin and epoxy reinforced with Bamboo fibers. Initially the fibers were characterized and embedded in polyurethane and epoxy separately for the manufacture of the composite materials. The bamboo fibers were dimensionally characterized and the composites were made with percentages of 30% by volume of bamboo fiber aligned along the entire length. The specimens were tested by Charpy impact and flexion tests. Through the results we can say that it is possible to replace the epoxy resin with the vegetable polyurethane resin based on castor oil, without losing the properties and initial characteristics of the project, also highlighting the sustainability of the components used..

**Keywords:** Charpy Impact Assay, Vegetable Polyurethane Resin, Epoxy Resin, Bamboo Fiber.

<sup>1</sup> Mestranda em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, LAMAV, UENF, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.

<sup>2</sup> Graduando em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, LAMAV, UENF, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.

<sup>3</sup> Pós doutorando em Ciência e Engenharia de Materiais, LAMAV, UENF, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.

<sup>4</sup> Professor de Ciência e Engenharia de Materiais, LAMAV, UENF, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

Compósitos constituídos por matrizes poliméricas reforçadas por fibras naturais lignocelulósicas (FNLs) consolidam uma das maiores áreas de interesse na pesquisa de materiais compósitos. Este interesse se estabeleceu no início da década de 90 devido às demandas das legislações vigentes relativo ao uso e destino final de fibras sintéticas e resinas oriundas do petróleo e da maior conscientização dos consumidores para preservação do meio ambiente e de fontes naturais renováveis.

Os compósitos poliméricos reforçados por FNLs são alternativas para substituir produtos fabricados de compósitos poliméricos convencionais reforçados por fibras sintéticas ou produtos feitos inteiramente de polímeros [7]. Estes compósitos estão sendo utilizados em peças automobilísticas, aeronáuticas, esportivas, na indústria da construção civil e moveleira [1-3].

Dentre os polímeros comerciais utilizados como matriz para a obtenção de compósitos poliméricos reforçados com fibras, as resinas epóxi e poliuretano destacam-se por sua grande variedade de escolha dos reagentes, que permite obter materiais com distintas propriedades físicas e químicas [5].

Ainda segundo Targa [6], quanto à reatividade química, as resinas epóxi e poliuretanos apresentam grupos epóxi e isocianatos, respectivamente, que podem interagir com grupos funcionais presentes nos materiais lignocelulósicos, como, por exemplo, seus grupamentos hidroxila (OH), teoricamente facilitando assim a adesão interfacial entre matrizes e as fibras.

As fibras de bambu se destacam devido a seu potencial de utilização como reforço em matrizes poliméricas, tendo em vista que detém excelentes características físicas e mecânicas, e podem ser facilmente cultivadas em território nacional [4].

Baseado nos fatores citados, este trabalho tem a finalidade de desenvolver e fazer uma análise comparativa de compósitos feitos por resina poliuretano derivada do óleo de mamona e epóxi reforçados com rejeitos fibras de Bambu.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

As fibras de bambu utilizadas neste trabalho foram resíduos industriais de bambu gentilmente fornecido por uma fábrica de espeto e palitos situada no município de Mirai, interior de Minas Gerais.

As fibras de bambu foram lavadas em água corrente e secas, em estufa, no LAMAV/UENF, a uma temperatura de 60 ° C por 24 horas para remover as impurezas superficiais e a umidade.

A massa específica real das fibras foi medida através do ensaio de densidade relativa dos líquidos, pelo método do picnômetro segundo a ASTM D792 [7]. A água é utilizada como substância padrão na picnometria, em uma temperatura ambiente de 25 °C.

Foi realizada uma análise morfológica da fibra por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), essas análises foram realizadas em microscópio da marca Shimadzu, modelo SSX-550, que se encontra disponível no LAMAV/UENF operando em um intervalo de voltagem de 15-20 kV.

As amostras padrão para teste de impacto Charpy, com dimensões de 125 x 12,7 x 10mm, foram preparadas com fibras de bambu alinhadas ao longo do comprimento, segundo a ASTM D6110-10 [8]. Esses corpos de prova foram ensaiados na máquina de ensaios de impactos da marca PANTEC e modelo Pendulum XC-50, com energia incidente de 15J, à temperatura ambiente. Um mínimo de 10 corpos de prova foi utilizado para cada lote analisado.

E para ensaio de flexão as amostras foram preparadas com dimensões de 122 x 7 x 25 mm, conforme a norma ASTM D790 [9]. Os corpos de prova foram testados na configuração de três pontos numa máquina universal de ensaios mecânicos, da marca INSTRON e modelo 5582 no LAMAV/UENF.

### 3 RESULTADOS

O valor de densidade relatado pela literatura está entre 0,5 – 0,8 g/cm<sup>3</sup> [10] e a densidade obtida através do método de picnometria para a fibra de bambu foi de 1,38 g/cm<sup>3</sup>, mesmo resultado obtido por Costa [11] de 1,38 g/cm<sup>3</sup>, essa variação se deve à anatomia do colmo e tipo do bambu e o método empregado.

É necessário estudar a microestrutura da fibra de bambu que, de modo genérico pode ser considerado como material compósito constituído de fibras longas e alinhadas de celulose imersas em matriz de lignina, já que possui grande relevância no que se refere a interação e aderência.

A natureza da interação polar e hidrofílica das FNLs e a característica apolar e hidrofóbica das matrizes poliméricas geram dificuldades para uma compatibilidade de interfaces fibras/matriz, que tende a promover uma diminuição da resistência mecânica em flexão do compósito [12].

Analisando a Figura 1 podemos observar que a superfície fibrilar é encoberta por unidades que se repetem por todas as fibrilas do material, sendo perceptíveis somente a lignina e ceras da fibra, denominada a matriz das plantas. A sua macroestrutura apresenta certa regularidade ao longo da superfície da fibra. Essa estrutura é basicamente composta de lignina e ceras que dificultam a adesão da matriz polimérica, pois as hidroxilas livres da lignina diminuem a compatibilidade com a matriz polimérica.

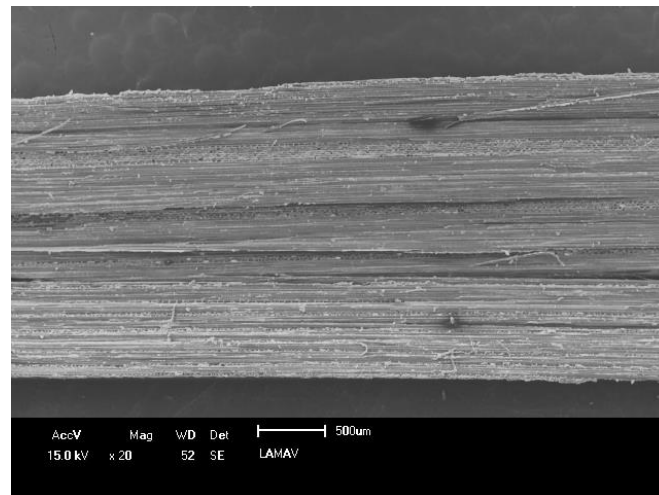


Figura 1 - MEV da superfície das fibras de bambu.

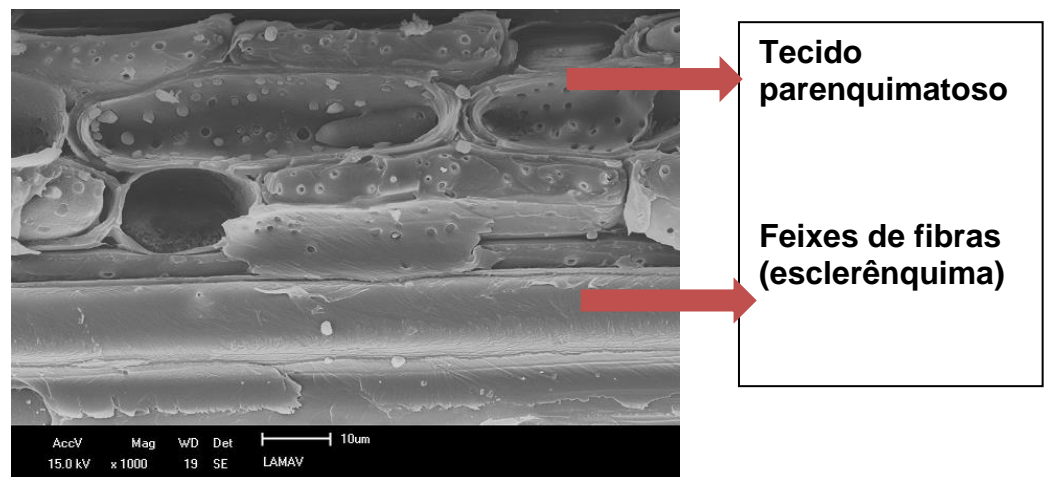


Figura 2 - Seção longitudinal indicando os elementos anatômicos do Bambu.

A baixa estabilidade dimensional atribuída ao bambu está relacionada à grande porcentagem de tecido parenquimatoso (de paredes delgadas), conforme mostrado na Figura 2, que é um tipo de tecido vegetal, chamado de preenchimento, compostos por células vivas que são constituídas apenas parede primária, e colapsam durante a perda de água, mascarando desta forma os resultados da retratibilidade (variação dimensional).

A retratibilidade é influenciada ainda pelo estágio de maturação das fibras e densidade dos feixes fibro-vasculares, os colmos mais velhos sendo mais estáveis [13]. FNLs como consequência de sua estrutura, apresentam capacidade elevada na absorção de água.

As curvas típicas do ensaio de flexão dos compósitos x deflexão, obtidas diretamente do sistema de aquisição de dados da máquina, são mostradas na Figura 3. Nesta figura é possível observar que curvas para os compósitos com matriz epóxi exibem deformação em torno de 5mm. Por outro lado, as amostras que continham resina poliuretano vegetal exibiram uma deformação plástica maior, em torno de 7mm.

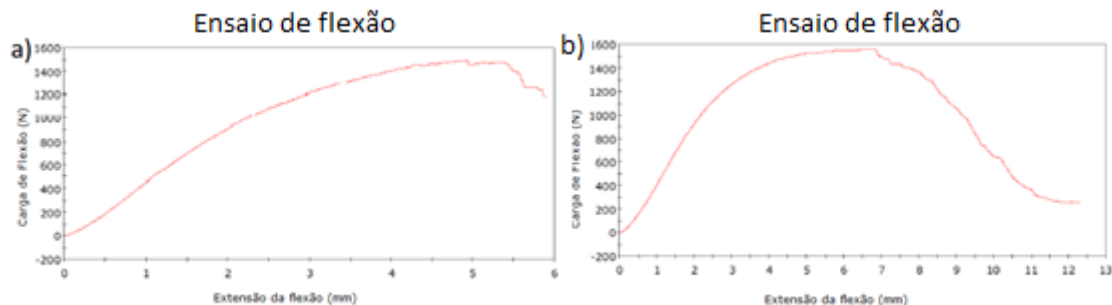


Figura 3 - Gráfico carga de flexão x extensão da flexão em compósitos utilizando a matriz (a) epóxi e (b) poliuretano

A Tabela 1 mostra a resistência a flexão utilizando a resina epóxi e o poliuretano vegetal.

Tabela 1. Variação da resistência a flexão utilizando matrizes diferentes.

Material	Resistencia à Flexão - MPa
EPÓXI	56,81 ± 16,77
POLIURETANO VEGETAL	47,31 ± 13,37

Os resultados indicam que os compósitos com matriz epoxídica possuem resistência á flexão ligeiramente superior, mas se considerarmos o desvio padrão os compósitos reforçados por fibras de bambu possuem a mesma resistência independente do tipo de matriz utilizada. Isso indica que apesar dos compósitos utilizando epóxi como matriz necessitar de uma energia maior para que haja uma deformação, os compósitos utilizando poliuretano vegetal como matriz exibem uma resistência extra até serem gradualmente rompidos. Não havendo uma fratura súbita, que segundo Monteiro [11], isso se deve à efetiva resistência que as fibras oferecem à propagação de trincas por meio da frágil matriz, sendo essa resistência dependente da interação fibra e matriz.

Analisando-se a resistência ao impacto, na configuração charpy para os dois tipos de compósitos, foi observado que também houve uma equivalência de valores quando comparadas as matrizes utilizadas.

Um dos fatores que colaboraram com a obtenção as propriedades mecânicas satisfatórias foi o fato de as saliências e reentrâncias das fibras terem sido prováveis pontos de ancoragem para ambas as resinas poliméricas utilizadas.

A Tabela 2 mostra a energia de impacto charpy utilizando a resina epóxi e poliuretano vegetal.

Tabela 2. Variação da energia de impacto Charpy

Energia de impacto	KJ/m <sup>2</sup>
EPÓXI	71,71 ± 14,20
POLIURETANO VEGETAL	99,64 ± 14,79

A resistência da interface entre um reforço com natureza hidrofílica natural e uma matriz de fibra de polímero hidrofóbico contribui para uma transferência de carga ineficaz. Isto resulta, relativamente, em maior energia de superfície de fratura por impacto necessário para a ruptura. Logo, os resultados superiores em relação ao epóxi obtidos utilizando a resina de poliuretano vegetal podem ser justificados pela interação superior entre a fibra e a matriz.

### 3 CONCLUSÃO

A análise por picnometria das fibras de bambu para determinar a densidade resultou em valores superiores ao encontrado na literatura que utiliza outros métodos. As imagens do MEV revelaram que as fibras de bambu possuem microfibrilas alinhadas longitudinalmente e microestrutura do tipo colmeia.

Para os ensaios mecânicos de flexão e impacto, conclui-se que os compósitos utilizando matriz de poliuretano vegetal possuem propriedades interessantes quando comparado ao uso do epóxi, sendo que o compósito, utilizando poliuretano exibe uma plasticidade mais acentuada e maior potencial de absorção de energia por meio do impacto.

Os objetivos propostos no trabalho foram alcançados de forma satisfatória. Os resultados dos ensaios mecânicos dos compósitos com matriz de poliuretano indicaram um desempenho mecânico similar e superior aos compósitos com resina epóxi. Dessa forma, fica demonstrado que é completamente possível a substituição da resina sintética pela resina de poliuretano vegetal na fabricação de determinados materiais sem perda das propriedades e características iniciais do projeto, destacando-se ainda a questão da sustentabilidade dos componentes utilizados.

De uma maneira geral, foi possível constatar que a resina de poliuretano possui resistência suficiente para ser utilizada substituindo a resina epóxi na fabricação de materiais compósitos, colaborando, principalmente, com aspectos ambientais, sociais e econômicos.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte dado pela FAPERJ, CAPES e ao Laboratório de Materiais Avançados da Universidade Estadual do Norte Fluminense – LAMAV/UENF.

## REFERÊNCIAS

- [1] AMERICAN SOCIETY OF MATERIALS. ASM Handbook - Composites. Materials Park, Ohio: American Society of Metals, v. 21, 2001.
- [2] COSTA, T. M. S. Estudo da viabilidade técnica do emprego do bambu da espécie *Bambusa vulgaris* Schrad. como carvão vegetal. 2004. 74 p. Dissertação (Mestre em Ciências na área de Tecnologia Nuclear-Materiais) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Autarquia Associada à Universidade de São Paulo, São Paulo.
- [3] GUIMARÃES JÚNIOR, M.; NOVACK, K. M.; BOTARO, V. R. Caracterização anatômica da fibra de bambu (*Bambusa vulgaris*) visando sua utilização em compósitos poliméricos. Revista Iberoamericana de Polímeros, Bilbao, v. 1, n.7, p.442-456, 2010. Disponível em: <http://www.ehu.eus/reviberpol/pdf/DIC10/guimaraes.pdf>. Acesso em: 19 Fevereiro de 2019.
- [4] Hidalgo Lopes, O., 2003, “Bamboo the gift of the gods”, D’Vinni Ltda: Bogotá, Colômbia, pp. 553.
- [5] Jindal U.C., (1986) Development and testing of bamboo fibers reinforced plastic Composites. Journal of composite material, Vol. 20, pp. 19-29.
- [6] KLÍMEK, P.; WIMMER, R.; MEINLSCHMIDT, P.; KÚDELA, J. Utilizing Miscanthus stalks as raw material for particleboards. Industrial Crops And Products, [S. l.], v. 111, p. 270-276, jan. 2018.
- [7] LIGOWSKI, E.; SANTOS, B. C.; FUJIWARA, S. T. Materiais compósitos a base de fibras da cana-de-açúcar e polímeros reciclados obtidos através da técnica de extrusão. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 25, n. 1, p. 70-75, 2015.
- [8] MACIEL, N. de O. R. Análise mecânica comparativa de tração, flexão e impacto entre compósitos reforçados com fibras de curauá e compósitos reforçados com fibras de vidro. 2017. 119f. Dissertação – Centro de Ciência e

- Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes/RJ.
- [9] MATTOS, R. L. G.; CHAGAS, F. B.; GONÇALVES, R. M. Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 27, p. 121-156, mar. 2008.
- [10] MELO, S. L. S. Investigação das propriedades mecânicas e adesão interfacial dos compósitos de polipropileno virgem e reciclado reforçados com fibras e microfibras de bambu. 2016. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Materiais)–Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.
- [11] MONTEIRO, S. N, FERREIRA, A.S; LOPES, F. P. D; Efeito do tratamento das fibras de curauá nas propriedades mecânicas de compósitos com matriz epoxídica. In: 64 Congresso Anual da ABM, 2009, Belo Horizonte - MG. Anais do 64 Congresso Anual da ABM. São Paulo - SP : Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, 2009. v. 1. p. 1-9.
- [12] NASCIMENTO, A. M., DELLA LUCIA, R.M. Propriedades físicas da madeira do bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus* (Wall) Munro) Boletim SIF. 6. Viçosa- MG., 1994.
- [13] OLIVEIRA, F. de. Lignosulfonato de sódio como agente de modificação da superfície de fibras lignocelulósicas e da formulação de termorrígido fenólico. 85 2010. Dissertação (Mestrado) – Ciências (Físico-Química), Instituto de Química de São Carlos, São Carlos-SP.
- [14] TARGA, G. N. Compósito Reforçado por Laminado de Bambu com Matriz de Poliuretano e Epóxi: Desenvolvimento, Produção e Caracterização Mecânica. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Florianópolis, 2011.
- [15] Vaidya, Uday Kumar. Biobased bamboo composite development. United States: N. p., 2017. <https://www.osti.gov/servlets/purl/1400154>.
- [16] VENTURA, A. M. F. M. Os compósitos e a sua aplicação na reabilitação de estruturas metálicas. Ciência e Tecnologia dos Materiais, v. 21, n. 3/4, p. 10-19, 2009.